

## **TAVLAMA BENZEŞİMİ YÖNTEMİYLE UZAY ÇELİK ÇERÇEVE SİSTEMLERİN OPTİMUM TASARIMI**

S. Özgür DEĞERTEKİN, M. Sedat HAYALİOĞLU

Dicle Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 21280, Diyarbakır

### **ÖZET**

Bu çalışmada, uzay çelik çerçevelerin tavlama benzeşimi (TB) yöntemiyle optimum tasarımı için bir algoritma geliştirilmiştir. Tavlama benzeşiminden elde edilen sonuçları kıyaslamak için uzay çelik çerçevelerin genetik algoritma (GA) yöntemiyle optimum tasarımı için de bir algoritma geliştirilmiştir. Optimum tasarımda çelik çerçevelerin gerilme, deplasman ve kesit sınırlayıcıları altında minimum ağırlıklı olarak boyutlandırılması amaçlanmıştır. Geliştirilen algoritma ve bilgisayar programlarının uygulaması olarak 8 ve 84 elemanlı iki uzay çelik çerçevenin optimum tasarımı yapılmıştır. Bu uygulamaların sonucunda tavlama benzeşimi ile genetik algoritmaya kıyasla daha hafif tasarımlar elde edilmiştir.

### **ABSTRACT**

In this study, an algorithm was developed using simulated annealing (SA) method for optimum design of steel space frames. To compare the results of SA method, an algorithm was also developed for optimum design of steel space frames using genetic algorithm (GA). Minimum weight design of steel frames was aimed under the stress, displacement and size constraints. Optimum designs of two steel space frames with 8 and 84 members were performed as application of the developed algorithms and computer programs. As a result of these applications, it was found that simulated annealing yielded lighter frame designs than genetic algorithm.

### **1. Giriş**

Tavlama benzeşimi (TB), katılardaki fiziksel tavlama işlemi ile optimizasyon problemleri arasındaki benzerliği esas alan bir arama yöntemidir. TB ilk olarak gezgin satıcı problemi ve elektronik devre tasarımının optimizasyonuna uygulanmıştır [1]. TB, yapı sistemlerin optimizasyonunda da kullanılmıştır [2-6]. Bu çalışmanın amacı, gelişmiş bir arama algoritması olan tavlama benzeşimini uzay çelik çerçevelerin optimum tasarımında kullanmaktır. TB'den elde edilen sonuçları kıyaslamak için uzay çelik çerçevelerin genetik algoritma (GA) yöntemiyle optimum tasarımı için de bir algoritma geliştirilmiştir.

## 2. Optimum Tasarım Problemi

Bu çalışmadaki optimum tasarım problemi şu şekilde tanımlanabilir.

$$\min W(x) = \sum_{k=1}^{ng} A_k \sum_{i=1}^{mk} \rho_i L_i \quad (1)$$

Burada;  $W(x)$  çerçeve ağırlığını,  $A_k$   $k$ 'nci gruptaki elemanların kesit alanını,  $mk$   $k$ 'nci gruptaki toplam eleman sayısını,  $\rho_i$  ve  $L_i$   $i$ 'nci elemanın özgül ağırlığı ve uzunluğunu,  $ng$  ise çerçevedeki toplam grup sayısını gösterir.

Optimum tasarımda kullanılan sınırlayıcılar şu şekilde sıralanabilir.

Yanal deplasman sınırlayıcısı;

$$g_j(x) = \frac{\delta_j}{\delta_{ju}} - 1 \leq 0, \quad j=1, \dots, m \quad (2)$$

şeklindedir. Burada;  $\delta_j$   $i$ 'nci sınırlanmış deplasman değeri,  $\delta_{ju}$  sınırlanmış deplasmanın üst sınırını,  $m$  ise çerçevedeki sınırlanmış deplasmanların toplam sayısını göstermektedir.

Katlar arası görelî ötelenme sınırlayıcısı;

$$g_{ji}(x) = \frac{\Delta_{ji}}{\Delta_{ju}} - 1 \leq 0, \quad j=1, \dots, ns, \quad i=1, \dots, nsc \quad (3)$$

şeklinde verilebilir.  $\Delta_{ji}$   $j$ 'nci kattaki  $i$ 'nci kolonun görelî ötelenmesi,  $\Delta_{ju}$   $j$ 'nci kattaki  $i$ 'nci kolonun görelî ötelenmesi için üst sınırı,  $ns$  çerçevedeki kat sayısı,  $nsc$  bir kattaki kolon sayısıdır.

Eksenel basınç kuvvetinin eğilme momenti ile birlikte etkimesi durumunda çubukta eğilmeli burkulma durumu oluşacaktır. Bu durum için gerilme kontrolleri;

$$g_i(x) = \left[ \frac{f_a}{F_a} + \frac{C_{mx} f_{bx}}{\left(1 - \frac{f_a}{F_{ex}}\right) F_{bx}} + \frac{C_{my} f_{by}}{\left(1 - \frac{f_a}{F_{ey}}\right) F_{by}} \right] - 1.0 \leq 0, \quad i=1, \dots, nc \quad (4)$$

$$g_i(x) = \left[ \frac{f_a}{0.60 F_y} + \frac{f_{bx}}{F_{bx}} + \frac{f_{by}}{F_{by}} \right] - 1.0 \leq 0, \quad i=1, \dots, nc \quad (5)$$

şeklindedir [7]. Eğer  $f_a/F_a \leq 0,15$  ise (4) ve (5) denklemleri yerine sadece

$$g_i(x) = \left[ \frac{f_a}{F_a} + \frac{f_{bx}}{F_{bx}} + \frac{f_{by}}{F_{by}} \right] - 1.0 \leq 0, \quad i=1, \dots, nc \quad (6)$$

denklemleri kullanılabilir. Eksenel çekme kuvvetinin ve eğilme momentinin birlikte etkimesi durumunda gerilme durumunun kontrolü;

$$g_i(x) = \left[ \frac{f_a}{F_t} + \frac{f_{bx}}{F_{bx}} + \frac{f_{by}}{F_{by}} \right] - 1.0 \leq 0, \quad i = 1, \dots, nb \quad (7)$$

şeklinde [7]. Burada  $nc$  eksenel basınç ve eğilme momentine maruz eleman sayısı,  $nb$  eksenel çekme ve eğilme momentine maruz eleman sayısıdır.

Yukarıdaki bağıntılarda;  $f_a$  yalnız eksenel basınç kuvveti etkimesi halinde hesaplanan gerilme,  $F_a$  yalnız eksenel basınç kuvveti etkimesi halinde müsaade edilen gerilme,  $f_b$  yalnız eğilme momenti etkisi altında hesaplanan basınç-eğilme başlığı gerilmesi,  $F_b$  yalnız eğilme momenti etkimesi halinde müsaade edilen basınç-eğilme başlığı gerilmesi,  $F'_e$  Euler gerilmesi,  $C_m$  moment diyagramına ve hesap yapılan düzleme dik doğrultudaki çubuğun tutulma düzenini göz önüne alan katsayı olup yanıl deplasmanının mümkün olduğu çerçevelerde 0.85 alınır,  $F_y$  ise çeliğin akma dayanımıdır. (7) denkleminde  $f_a$  yalnız eksenel çekme kuvveti etkimesi halinde hesaplanan gerilme,  $F_t$  yalnız eksenel çekme kuvveti etkimesi halinde müsaade edilen gerilme değeri,  $f_b$  eğilme momentinin etkimesi halinde hesaplanan eğilme-çekme gerilmeleridir.  $F_b$  eğilme momentinin etkimesi halinde müsaade edilen eğilme-çekme gerilmeleridir.

Kolonlar için kullanılan kesit sınırlayıcısı ise şu şekilde verilebilir.

$$g_n(x) = \frac{d_{un}}{d_{bn}} - 1.0 \leq 0, \quad n = 1, \dots, ncl \quad (8)$$

burada  $d_{un}$  ve  $d_{bn}$  gözönüne alınan kolonun sırasıyla üst ve alt katında bulunan kolonların gövde yüksekliği,  $ncl$  zemin kat kolonları haricindeki toplam kolon sayısıdır. Çubukların burkulma boyunun hesabında çubuğun gerçek boyu  $K$  etkili kolon uzunluk faktörü ile çarpılır [8].

Optimum tasarımda kullanılan sınırlayıcısız amaç fonksiyonu aşağıdaki biçimde verilebilir.

$$\phi(x) = W(x) \left( 1 + R \sum_{i=1}^m c_i \right) \quad (9)$$

Burada  $m$  toplam sınırlayıcı sayısı,  $R$  probleme özgü bir ceza sabitidir.  $c_i$  ihlal edilme katsayısı her sınırlayıcı için aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\begin{aligned} g_i(x) > 0 & \text{ ise } c_i = g_i(x) \\ g_i(x) \leq 0 & \text{ ise } c_i = 0 \end{aligned} \quad (10)$$

Hem TB hem de GA ile yapılan her tasarımda sınırlayıcıların ihlal edilip edilmediğinin tespiti için çerçevedeki deplasman ve gerilme değerlerinin bilinmesi gerekmektedir. Bu ise uzay çelik çerçevelerin analizi ile mümkündür. Bu çalışmada, uzay çelik çerçevelerin analizi için kaynak [9]'da verilen bilgisayar program kodu ile kullanılmıştır.

### 3. Tavlama Benzeşimi

TB katılardaki tavlama işlemi ile optimizasyon problemleri arasında benzerlik kuran bir arama yöntemidir. Tavlama; önce katının tüm parçacıklarının erimesi için ortamın sıcaklığı artırılır, ardından sıcaklık yavaş bir şekilde azaltılarak yer durumu adı verilen minimum enerjili durum elde edilmeye çalışır. Ancak sıcaklık yeteri kadar yükseltilmemiş veya soğutma işlemi yeterince yavaş yapılmamışsa yarı kararlı olan kusurlu bir yapı elde edilir.

TB’de ilk olarak rasgele bir başlangıç tasarımı üretilir ve mevcut tasarım olarak atanır. Bu tasarımda rasgele bir tasarım değişkeni seçilir. Seçilen tasarım değişkenini temsil eden çelik kesitin yerine önceden belirlenen komşu derinliğindeki kesitlerden rasgele bir tanesi atanır. Bu şekilde elde edilen yeni tasarıma komşu tasarım adı verilir. Komşu tasarım için çerçeve analizi yapılarak deplasman ve kesit tesirleri hesaplanır. (1)-(10) denklemleriyle sınırlayıcısız amaç fonksiyonu hesaplanır. Komşu tasarımın sınırlayıcısız amaç fonksiyonu mevcut tasarımın sınırlayıcısız amaç fonksiyonu değerinden büyük değilse bu tasarım mevcut tasarımın yerini alır.

Eğer komşu tasarımın sınırlayıcısız amaç fonksiyonu, mevcut tasarımın sınırlayıcısız amaç fonksiyonu değerinden büyükse komşu tasarımın mevcut tasarımın yerini alıp almayacağı Metropolis algoritmasıyla belirlenir [10]. Mevcut  $i$  tasarımının yerine komşu  $j$  tasarımının kabul edilme olasılığı şu şekilde hesaplanır.

$$A_{ij}(T_k) = \begin{cases} 1 & \text{ise } \Delta\varphi_{ij} \leq 0 \\ \exp\left(\frac{-\Delta\varphi_{ij}}{\Delta\bar{\varphi}T_k}\right) & \text{ise } \Delta\varphi_{ij} > 0 \end{cases} \quad (11)$$

Burada  $\Delta\varphi_{ij} = \varphi(x_j) - \varphi(x_i)$  .  $\varphi(x_j)$  ve  $\varphi(x_i)$  sırasıyla komşu ve mevcut tasarımın sınırlayıcısız amaç fonksiyonu değerleri,  $\Delta\bar{\varphi}$  normalizasyon sabitidir [2].  $\Delta\varphi_{ij} > 0$  durumunda öncelikle  $[0,1]$  aralığında  $rn$  ile gösterilen rasgele bir reel sayı üretilir. Eğer  $rn < A_{ij}$  ise komşu tasarım kabul edilir. Aksi halde mevcut tasarım değişmez. TB’de verilen  $P_s$  başlangıç kabul olasılığı ve  $P_f$  nihai kabul olasılığı değerleri için  $T_s$  başlangıç sıcaklığı,  $T_f$  nihai sıcaklık değerleri ve  $T_k$  sistem sıcaklığı şu şekilde hesaplanır.

$$T_s = \frac{-1}{\ln P_s} \quad (12)$$

$$T_f = \frac{-1}{\ln P_f} \quad (13)$$

$$T_{k+1} = \alpha T_k \quad (14)$$

denklemleriyle azaltılır. Burada  $\alpha$  soğutma katsayısı 1’den küçük bir değer olup

$$\alpha = \left( \frac{\ln P_s}{\ln P_f} \right)^{1/(N-1)} \quad (15)$$

şeklinde hesaplanır. Her tasarım değişkeni için aynı işlemler tekrarlanarak bir iterasyon tamamlanır. Bir döngüde yapılması gerekli iterasyon sayısı  $IPC(T)$  şu şekilde hesaplanır [3].

$$IPC(T) = IPC_f + (IPC_f - IPC_s) \left( \frac{T - T_f}{T_f - T_s} \right) \quad (16)$$

Burada  $IPC_s$  ve  $IPC_f$  sırasıyla başlangıç ve nihai sıcaklık değerinde yapılacak iterasyon sayısıdır.  $IPC(T)$  sayısı kadar iterasyon yapılarak bir döngü tamamlanır. (14) denklemiyle sıcaklık azaltılarak bir sonraki döngüye geçilir, aynı işlemler durdurma kriteri sağlanıncaya kadar tekrarlanır.

#### 4. Uzak Çelik Çerçevelerin Tavlama Benzeşimi Yöntemiyle Optimum Tasarımı

Uzak çelik çerçeve sistemlerin TB ile optimum tasarım algoritması aşağıdaki adımlardan oluşmaktadır.

1. Verilen  $P_s$ ,  $P_f$  ve  $N$  değerlerini kullanarak (12), (13) ve (15) denklemleriyle sırasıyla  $T_s$ ,  $T_f$  ve  $\alpha$  parametrelerini hesapla. Döngü sayacını çalıştır  $ic=1$ , tasarım değişkeni sayacını ( $iv$ ) ve her döngüde yapılacak iterasyon sayacını ( $il$ ) sıfırla  $iv=0$ ,  $il=0$ .
2. Rasgele bir  $X_o$  başlangıç tasarımı üret. Bu tasarımı  $X_i$  mevcut tasarımı olarak ata,  $X_i=X_o$ . Çerçeve için analiz yaparak deplasman ve kesit tesirlerini hesapla. (1)-(10) denklemleriyle  $\varphi(x_o)$  sınırlayıcısız amaç fonksiyonunu hesapla. Bu tasarım tüm sınırlayıcıları sağlıyorsa aynı zamanda mevcut optimum tasarım ( $X_{opt}$ ) olarak ata
3. Bu döngüde yapılması gereken  $IPC(T)$  iterasyon sayısını (16) denklemiyle hesapla.
4. Rasgele bir tasarım değişkeni (çelik profil kesit) seç.  $ka \in [1, \dots, ng]$ , tasarım değişken sayacını arttır,  $iv=iv+1$ . Diğer tasarım değişkenleri aynı kalmak üzere kesit listesinde  $ka$ 'ncı tasarım değişkenine komşu olan bir profil kesiti rasgele olarak seç ve  $ka$ 'nın yerine ata. Böylece  $X_j$  komşu tasarımı elde et. Komşu tasarım için çerçeve analizi yapılarak deplasman ve kesit tesirleri hesapla. (1)-(10) denklemleriyle  $\varphi(x_j)$  sınırlayıcısız amaç fonksiyonu hesapla.
5.  $\Delta\varphi_{ij} = \varphi(x_j) - \varphi(x_i)$  değerini hesapla.
6. Eğer  $\Delta\varphi_{ij} \leq 0$  ise,  $X_j$  komşu tasarımını mevcut tasarım olarak ata. Eğer bu tasarım mevcut optimum tasarımdan ( $X_{opt}$ ) daha hafifse mevcut optimum tasarımın yerine ata,  $X_{opt}=X_j$ .
7. Eğer  $\Delta\varphi_{ij} > 0$  ise,  $\Delta\bar{\varphi}$  normalizasyon sabitini güncelle [2]. (11) denkleminin ikinci satırını kullanarak  $A_{ij}(T_k)$  kabul edilme olasılığını hesapla.  $[0,1]$  aralığında rasgele bir  $rn$  reel sayısı üret. Eğer  $rn < A_{ij}$  ise 8. adıma git. Değilse tasarım değişken sayacını kontrol et, eğer  $iv > ng$  ise 9. adıma git değilse 4. adıma git.
8. Komşu tasarımı mevcut tasarımın yerine ata,  $X_i=X_j$ . Eğer bu tasarım mevcut optimum tasarımdan daha hafifse aynı zamanda mevcut optimum tasarım olarak ata,  $X_{opt}=X_j$ . Eğer  $iv > ng$  ise 9. adıma git değilse 4. adıma git.
9. İterasyon sayacını kontrol et. Eğer  $il \leq IPC(T)$  ise  $iv = 0$ ,  $il = il + 1$  değerlerini ata ve 4. adıma git. Değilse 10. adıma git.
10. (14) denklemiyle  $T_k$  sistem sıcaklığını güncelle. Döngü sayacını arttır,  $ic = ic + 1$ . Durdurma kriteri sağlanmışsa arama işlemini durdur. Son elde edilen mevcut optimum tasarım optimum tasarım bu tasarıma ait ağırlık optimum ağırlık olarak elde edilir. Eğer durdurma kriterlerinden ikisi de sağlanmamışsa  $il = iv = 0$  değerlerini atayarak 3. adıma git.

## 5. Genetik Algoritmalar

GA, doğal genetik ve doğal seçim olayına dayanan araştırma teknikleridir. GA’da değişik operatörler mevcuttur. Bu çalışmada; üreme, çaprazlama, mutasyon operatörleri kullanılmıştır. GA’nın temel karakteri problemi tanımlayan değişkenlerin kodlanmasıdır. En yaygın olarak kullanılan kodlama metodu değişkenleri ikili tabanda belli uzunlukta bir diziye dönüştürmektir. Bir topluluktaki bireyler 1 veya 0 karakterlerinden oluşan sonlu uzunluktaki dizilerdir. Bireyler kromozomlar, karakterler ise yapay genlerdir. Bir dizi, her biri bir tasarım değişkenini temsil eden bir takım alt dizilerden oluşabilmektedir. Tüm diziler bir araya gelerek yapı sistemini oluşturur. Üreme operatörü en uygun olanın hayatta kalması ilkesini uygular. Çaprazlama operatörü çiftleşme havuzundaki bireylerin genetik bilgilerini yeniden birleştirerek probleme yeni çözümler üretir. Mutasyon operatörü ise optimizasyonda farklı çözüm bölgelerinin araştırılmasını sağlamaktadır. Bu operatör topluluktaki her yeni bireye önceden belirlenen bir olasılıkla uygulanır. Bireyden rastgele seçilen bir gen 0’dan 1’e veya 1’den 0’a değiştirilir.

GA bireyler arasında seçim yapabilmek için bir uygunluk kriteri kullanmaktadır. Bu kriter topluluktaki en sağlıklı bireyin uygunluğunun maksimum olması esasına dayanır. Buna göre topluluktaki  $i$  no’lu birey için uygunluk ifadesi aşağıdaki gibi yazılabilir [11].

$$F_i = (\varphi(x)_{\max} + \varphi(x)_{\min}) - \varphi(x)_i \quad (17)$$

Burada  $\varphi(x)_{\max}$ ,  $\varphi(x)_{\min}$  ve  $\varphi(x)_i$  sırasıyla topluluktaki maksimum, minimum ve  $i$ ’nci elemanın sınırlayıcısız amaç fonksiyonudur.  $F_i$  ise  $i$ ’nci bireyin uygunluk faktörüdür.

## 6. Uzak Çelik Çerçevelerin Genetik Algoritma Yöntemiyle Optimum Tasarım Algoritması

Uzak çelik çerçevelerin genetik algoritma yöntemiyle optimum tasarımı için geliştirilen algoritma aşağıdaki adımlardan oluşur.

1. Tasarım değişkenlerini ikili sistemde kodla. Dizi uzunluğunu belirle. Topluluk için bir kesit listesi düzenle.
2. İki tabanındaki sayılardan (0 ve 1) oluşan başlangıç topluluğunu rastgele oluştur.
3. Her birey için ikili sistemde kodlanan tasarım değişkenlerini onluk sisteme dönüştürerek kesit listesindeki sıra numarasını bul, bu numaradaki standart kesitle eşleştir.
4. Belirlenen bu kesitler için her bireyin (çerçevenin) analizini yap, düğüm deplasmanlarını ve gerilmeleri hesapla.
5. Her birey için (10) denklemiyle sınırlayıcıların ihlal edilme katsayısını, (9) denklemiyle de sınırlayıcısız amaç fonksiyonunu hesapla. Topluluktaki amaç fonksiyonlarının minimum ve maksimum değerlerini belirle.
6. (17) denklemiyle her bireyin uygunluğunu hesapla. Kaynak [12]’de anlatıldığı gibi optimum çözüme hızlı yakınsama için lineer uygunluk ölçeklendirmesini uygula. Topluluktaki ortalama uygunluk ve her bireyin uygunluğunu hesapla.
7. Üreme operatörünü uygula. Her bireye uygunluk faktörü ile orantılı olarak kopyalayıp eşleşme havuzuna gönder. Uygunluğu düşük olan bireyleri topluluktan çıkar. Bu yeni kopyaları havuzda rastgele eşleştir ve her çiftte üniform çaprazlama uygulayarak yeni evlatları ve bunların oluşturduğu yeni topluluğu elde et.

8. Yeni topluluktaki her evlada mutasyon operatörü uygula.
9. Yeni topluluğu başlangıç topluluğu olarak ata. 3-9 arası adımlardaki işlemlere en son elde edilen topluluktaki maksimum uygunlukla ortalama uygunluk arasındaki fark belirli küçük bir değerin altına ininceye kadar veya maksimum döngü sayısı aşılmıncaya kadar devam et. Bu durumda maksimum uygunluk değerine sahip birey optimum ağırlıklı çerçeveyi verir.

## 7. Uygulamalar

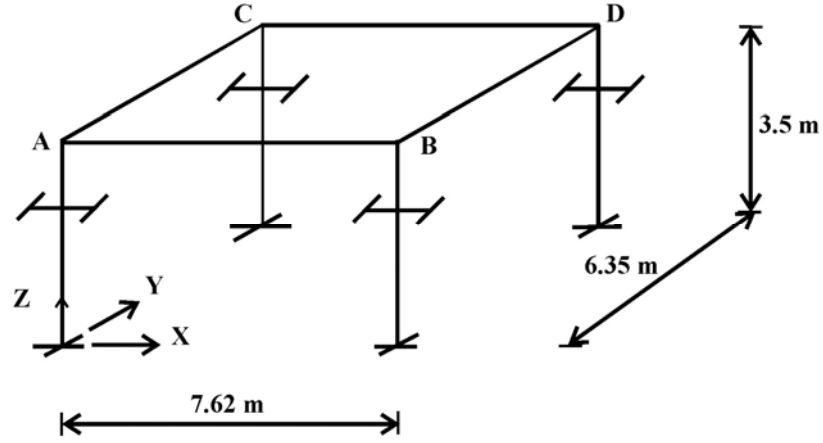
TB ve GA'nın uygulanabilirliğini göstermek ve elde edilen sonuçları kıyaslamak için iki uzay çelik çerçeve örneği kullanılmıştır. Örneklerde çelik için elastisite modülü  $E=200$  GPa, kayma modülü  $G=83$  GPa, akma dayanımı  $f_y=248.2$  MPa ve özgül ağırlığı  $\rho=7850$  kg/m<sup>3</sup> olarak alınmıştır. Çerçevelerde; ölü yükler ( $D$ ), hareketli yükler ( $L$ ) ve rüzgar yükü ( $W$ ) olmak üzere üç yük tipi kullanılmış ve yük kombinasyonu olarak ( $D+L+W$ ) bir arada bulunduğu kombinasyon alınmıştır [7]. Örneklerde ölü yük için 4.00 kPa, hareketli yük için 3.20 kPa değerleri seçilmiştir. Rüzgar yükü,  $p = C_e C_q q_s I_w$  denklemiyle hesaplanmıştır [13]. Bu denklemde  $p$  rüzgar basıncı,  $C_e$  çerçeve yüksekliği ve yapının bulunduğu bölgeye göre seçilen bir katsayı,  $C_q$  basınç katsayısı,  $q_s$  seçilen rüzgar hızına göre belirlenen rüzgar basıncı,  $I_w$  yapı önem katsayısıdır. Yapının bulunduğu bölgedeki rüzgar etkisinin  $D$  sınıfı olması kabulü  $C_e$  şartnamedeki ilgili tablodan alınmıştır.  $C_q$  basınç ve emme yüzlerinde sırasıyla 0.8 ve 0.5 alınmıştır.  $q_s$  rüzgar hızının 161 km/h (100 mph) alınmasıyla ilgili tablodan 1.23 kPa seçilmiş ve  $I_w$  için 1.0 değeri alınmıştır.

Çerçevede en üst katın deplasmanı  $H/400$  ve katlar arası görelî ötelenme  $h_c/300$  ile sınırlanmıştır [14]. Burada  $H$  çerçeve yüksekliğini ve  $h_c$  kat yüksekliğini göstermektedir. Kirişler için AISC-ASD [7] bölüm 2'deki profil tablosunda W36×720'dan W12×19'a kadar olan 64 adet profil, kolonlar için aynı yönetmeliğin 3. bölümündeki profil tablosunda verilen W14×283'dan W6×15'e kadar olan 64 adet profil kesit kullanılmıştır.

### 7.1. Sekiz elemanlı uzay çerçeve

Sekiz elemanlı uzay çerçeve Şekil 1'deki gösterilmiştir. Bu çerçeve üç gruba ayrılmıştır; I. grup  $X$  eksenî doğrultusundaki kirişler, II. grup  $Y$  doğrultusundaki kirişler, III. grup kolonlardır. Rüzgar yükleri  $Y$  eksenî doğrultusunda AB basınç ve CD emme yüzlerindeki mesnet düğümleri haricindeki düğüm noktalarına etki ettirilmiş ve düğüm noktalarının deplasmanı 0.88 cm ile sınırlandırılmıştır.

TB ile optimum tasarımda; komşu derinliği  $\pm 3$ , başlangıç kabul olasılığı  $P_s=0.5$ , nihai kabul olasılığı  $P_f=10^{-7}$ , ilk döngüde yapılacak iterasyon sayısı  $IPC_s=1$ , son döngüde yapılacak iterasyon sayısı  $IPC_f=4$  ve ceza sabiti  $R=1$  değeri en uygun sonuçları vermiştir. GA'da popülasyon büyüklüğü 12, uygunluk ölçeklendirmesi 2, çaprazlama olasılığı 0.95, mutasyon olasılığı 0.001 ve ceza sabiti 10 seçilmiştir. Her iki yöntem için de maksimum döngü sayısı 200 seçilmiştir. Bunun yanında TB'de 30 döngü boyunca mevcut optimum tasarımın değişmemesi halinde arama işlemi bitirilmesi ve GA'da son elde edilen topluluktaki maksimum uygunlukla ortalama uygunluk arasındaki farkın maksimum uygunluğa oranının 0.008'den küçük olması şartı ikinci durdurma kriteri olarak kullanılmıştır. Sekiz elemanlı çerçeve için her iki yöntem için yukarıda verilen parametre değerleri için programlar icra edilmiş ve elde edilen sonuçlar Tablo 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Sekiz elemanlı uzay çerçeve

Tablo 1. Sekiz elemanlı uzay çerçeve için optimum tasarım sonuçları

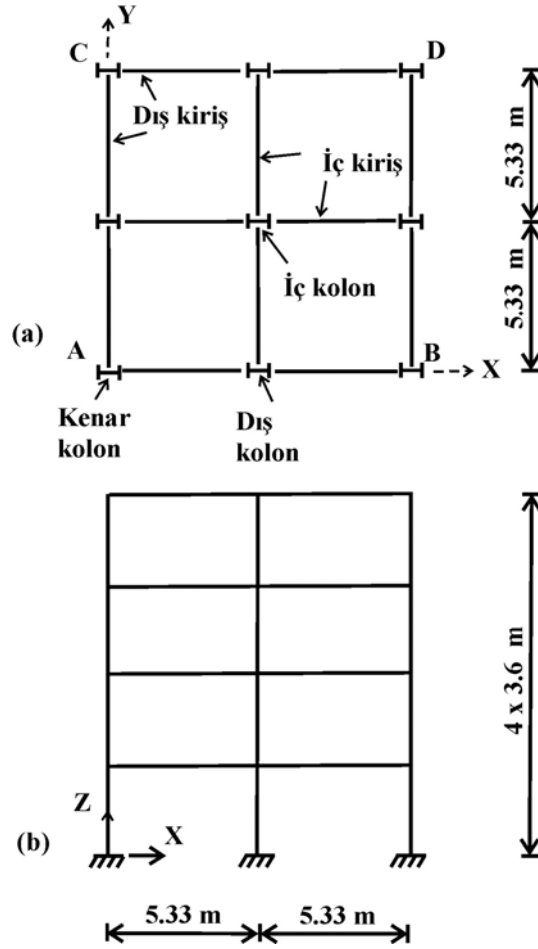
Grup no.	GA	TB
1	W 21×50	W 18×50
2	W 18×50	W 14×34
3	W 10×54	W 12×53
Ağırlık (kg)	3200	2884
En büyük deplasman değeri (cm)	0.71	0.87

Tablo 1'e göre TB ile GA'ya göre % 9.8 daha hafif bir çerçeve tasarımı elde edilmiştir. TB'de hem gerilme hem de deplasman sınırlayıcıları aktifken, GA ile elde edilen tasarımda sadece gerilme sınırlayıcısı aktiftir. TB ile optimum tasarım 92. döngüde 564 çerçeve analizi sonunda bulunurken, GA optimum tasarıma 41 döngü sonunda yakınsamış ve 492 çerçeve analizi gerektirmiştir. Bu durumda TB yapılan optimum tasarımı arama işlemi GA'ya kıyasla daha fazla çerçeve analizi ve dolayısıyla daha fazla hesaplama süresi gerektirmektedir.

## 7.2. Seksen dört elemanlı uzay çerçeve

Seksen dört elemanlı uzay çerçeve için plan ve önden görünüm Şekil 2'deki gibidir. Bu çerçeve on gruba ayrılmıştır; I. grup 4. kat dış kirişleri, II. grup 3, 2 ve 1. katların dış kirişleri, III. grup 4. kat iç kirişleri, IV. grup 3, 2 ve 1. katların iç kirişleri, V. grup 4. kat kenar kolonları, VI. grup 3, 2 ve 1. katların kenar kolonları, VII. grup 4. kat dış kolonları, VIII. grup 3, 2 ve 1. katların dış kolonları, IX. grup 4. kat iç kolonu, X. grup 3, 2 ve 1. katların iç kolonlarıdır. Rüzgar yükü Y eksenine doğrultusunda AB basınç ve CD emme yüzündeki mesnet düğümleri haricindeki düğüm noktalarına etki ettirilmiştir. En üst kat en büyük deplasman ve katlar arası göreceli ötelenmenin en büyük değeri sırasıyla 3.6 cm ve 1.2 cm ile sınırlandırılmıştır. TB ve GA'da kullanılan parametreler için ilk örnekte verilen değerler kullanılmış yalnızca GA'da popülasyon büyüklüğü 36 alınmıştır. Her iki yöntemden elde edilen optimum tasarımlara ait sonuçlar Tablo 2'de verilmiştir.





Şekil 2. Seksen dört elemanlı uzay çerçeve (a) plan (b) önden görünüm

Tablo 2. Seksen dört elemanlı uzay çerçeve için optimum tasarım sonuçları

Grup no.	GA	TB
1	W 12×30	W 14×34
2	W 14×34	W 14×34
3	W 16×40	W 14×34
4	W 21×50	W 21×50
5	W 10×54	W 8×35
6	W 14×90	W 12×72
7	W 12×58	W 10×49
8	W 14×109	W 12×96
9	W 14×43	W 10×60
10	W 14×120	W 14×132
Ağırlık (kg)	31775	29522
En büyük deplasman değeri (cm)	3.12	3.48
Görelî ötelenme en büyük değeri (cm)	0.91	1.16

Tablo 2’den görüleceği üzere TB ile GA’ya göre % 7.1 daha ekonomik tasarım elde edilmiştir. TB’de katlar arası görelî ötelenme ve gerilme sınırlayıcısı aktifken, GA’da sadece gerilme sınırlayıcısı aktiftir. TB ile optimum tasarım 174. döngü sonunda elde edilmiş ve 4340 çerçeve analizi yapılmıştır. Buna karşın GA ile optimum tasarım 98. döngü sonunda bulunmuş ve 3528 çerçeve analizi gerekmiştir.

## 8. Sonuçlar

Geliştirilen algoritma ve bilgisayar programlarının uygulaması olarak 8 elemanlı ve 84 elemanlı iki uzay çelik çerçevenin optimum tasarımı yapılmıştır. Bu uygulamaların sonucunda TB ile GA’dan elde edilen sonuçlara göre % 7.1-% 9.8 daha ekonomik çerçeve tasarımları elde edilmiştir. Bununla birlikte TB optimum tasarımı bulmak için GA’ya kıyasla daha fazla çerçeve analizi gerektirmektedir.

## Kaynaklar

- [1] Kirkpatrick, S., Gelatt, C.D. and Vecchi, M.P., “Optimization by Simulated Annealing”, Science, 220, 671-680, 1983.
- [2] Balling, R.J., “Optimal Steel Frame Design by Simulated Annealing”, J Struct. Eng. ASCE, 117, 1780-1795, 1991.
- [3] Bennage, W.A. and Dhingra, A.K., “Single and Multiobjective Structural Optimization in Discrete-Continuous Variables Using Simulated Annealing”, Int. J Num. Meth. Eng., 38, 2753-2773, 1995.
- [4] Pantelidis, C.P. and Tzan, S.R., “Modified Iterated Annealing Algorithm for Structural Synthesis”, Adv.Eng. Softw., 31, 391-400, 2000.
- [5] Chen, T.Y. and Su, J.J., “Efficiency Improvement of Simulated Annealing in Optimal Structural Designs”, Adv. Eng. Softw., 33, 675-680, 2002.
- [6] Hasancebi, O. and Erbatur, F., “Layout Optimisation of Trusses Using Simulated Annealing”, Adv. Eng. Softw., 33, 681-696, 2002.
- [7] American Institute of Steel Construction: “Manual of Steel Construction: Allowable Stress Design”, Chicago, Illionis, 1989.
- [8] Dumonteil, P., “Simple Equations for Effective Length Factors”, Eng. J. AISC, 3, 111-115, 1992.
- [9] Levy, R. and Spillers, W.R., “Analysis of Geometrically Nonlinear Structures”, Chapman and Hall, New York, 1994.
- [10] Metropolis, N., Rosenbluth, A., Teller, A. and Teller, E., “Equation of State Calculations by Fast Computing Machines”, J. Chem. Phy., 21, 1087-1092, 1953.
- [11] Rajeev, S. and Krishnamoorthy C.S., “Discrete Optimization of Structures Using Genetic Algorithms”, J. Struct. Eng. ASCE, 118, 5, 1233-1250, 1992.
- [12] Goldberg, D.E., “Genetic Algorithms in Search Optimization and Machine Learning, Reading, Massachusetts, Addison-Wesley, 1989.
- [13] Uniform Building Code, “International conference of building officials”, Whittier, California, 1997.
- [14] Ad Hoc Committee on Serviceability Research, “Structural Serviceability: A Critical Appraisal and Research Needs”, J. Struct. Eng. ASCE 112, 2646-2664, 1986.